



TITLE:

心材化にともなう柔細胞内容物の 変化過程: スギ・モミ・アカマツに ついて

AUTHOR(S):

野淵, 正; 神園, 泰比古; 原田, 浩

CITATION:

野淵, 正 ...[et al]. 心材化にともなう柔細胞内容物の変化過程: スギ・モミ・アカマツについて. 京都大学農学部演習林報告 1976, 48: 178-186

ISSUE DATE:

1976-10-25

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/191609>

RIGHT:

心材化にともなう柔細胞内容物の変化過程

——スギ・モミ・アカマツについて——

野 瀧 正・神園泰比古・原 田 浩

Cytological changes of parenchyma cells associated with heartwood formation

——On three soft wood species, Sugi, Momi and Akamatsu——

Tadashi NOBUCHI, Yasuhiko KAMIZONO and Hiroshi HARADA

目 次

1. はじめに……………	178	3-2. 移行材における柔細胞の老化の 二・三の特徴……………	182
2. 試料および実験方法……………	179	引 用 文 献……………	183
3. 結果と考察……………	179	Résumé……………	183
3-1. 柔細胞内容物の挙動……………	179		

要 旨

心材化にともなう柔細胞内容物の変化過程を、スギ・モミ・アカマツを用いて光学顕微鏡・電子顕微鏡で観察し、以下の結果を得た。

1. 放射柔細胞中には核・でんぷん・脂質が形成層から移行材まで存在し、明らかに生活機能を持っているものと思われる。
2. 軸方向柔細胞・エピセリウム細胞の核・でんぷん・脂質も放射柔細胞の場合と同様に、形成層付近から移行材まで存在した。
3. タンニンは、樹種・部位・柔細胞の種類により、異なった分布を示した。
4. 移行材における柔細胞内容物の存在様式は均質なものではなく、従って柔細胞の壊死の開始には、いくつかの段階があるものと推定される。

1. は じ め に

樹木の心材形成に関する細胞学的な研究は、今まで主に放射柔細胞を対象としてなされてきた。たとえば、FREY-WYSSLING¹⁾等や樋口・深沢ら²⁾により、細胞内容物の形態、細胞化学的な観察結果が報告され、放射柔細胞の心材形成に占める役割の重要性が指摘されてきている。ところで、二次木部を構成する柔細胞には、一般に放射柔細胞とそれ以外の軸方向柔細胞あるいはエピセリウム細胞等があり、これらは木部中で相互に何らかの機能的な関連を持ち、全体としては“柔細胞群”ともいえる構造を形成しているのではないかと考えられる。この考えにもとづくと、心材形成を考える時、放射柔細胞のみではなく放射柔細胞以外の柔細胞についてもより多くの知見を得て、各々の役割について知ることが是非とも必要となる。このような観点に立ち、二次木部を

構成するすべての柔細胞の内容物を、形成層から心材にかけて観察することを試みた。

樹種は針葉樹に限定し、二次木部を構成する柔細胞の種類の相違による比較の糸口が得られるように、柔細胞の構成が異なる3樹種——スギ・モミ・アカマツ——を選んだ。なお今回の報告では、柔細胞を二つ、すなわち放射柔細胞とその他の柔細胞に分けて説明する。ところでモミの場合、放射柔細胞以外には、軸方向柔細胞が存在するとの報告³⁾、また存在しないとの記載があるが、今回の観察においては、年輪界に極めてまれに軸方向柔細胞が観察されたにすぎなかった。そこで本報告ではモミの場合は放射柔細胞のみについて触れることにする。従って、その他の柔細胞としては、スギの軸方向柔細胞とアカマツの軸方向・水平方向樹脂道を構成するエピセリウム細胞となる。

また今回観察した3樹種における辺・心材の区別は、スギ・アカマツについては心材の着色により、モミについては心材の着色は明確でなかったが含水率の相違に基づくと思われる色調のちがいをもとに、肉眼的に区別した。そして着色した部分ないしは色調の変化した部分を心材、心材の外側1・2年を移行材と呼ぶことにする。

本実験に当たり、試料木を御提供下さいました上賀茂試験地の方々に、ここに記して感謝の意を表明します。

2. 試料および実験方法

京都大学農学部付属上賀茂試験地に生育するスギ (*Cryptomeria japonica* D. Don), モミ (*Abies firma* SIEB. et ZUCC.), アカマツ (*Pinus densiflora* SIEB. et ZUCC.) を用いた。試料採取時期は5月末日および9月末日であり、従って本報告では季節による内容物の比較は行なわなかった。各々の胸高位置から生長錐で木片 (形成層から心材内部にいたるもの) を採取し、以下の実験に供した。なお樹齢は、スギ約25年、モミ約30年、アカマツ約40年である。

光学顕微鏡用としては、試料木片採取後直ちに固定 (FAA または10%ホルマリン) し、形成層から心材にかけて半径切片 (約 20μ 厚) を連続的に取り、目的に応じて各々の染色を施した。今回の光学顕微鏡による観察対象は、原形質的な細胞内小器官としての核、貯蔵物質としてのでんぷん・脂質、フェノール系の代謝生成物の一つとしてのタンニンに限った。各々の染色法は次の通りである。核—サフラニン・ライトグリーン2重染色、でんぷん—ヨウ素・ヨウ化カリウム染色、脂質—スダンIV染色 (この場合はホルマリン固定による)、タンニン—ホルマリン固定後2%硫酸第一鉄水溶液でブロック染色。

電子顕微鏡用としては、上記同様生長錐で得た木片から、目的の部位で小木片 ($1\times1\times3\text{mm}$) を切り取り、4%グルタルアルデヒド—1%オスミック酸で2重固定し、常法に従って超薄切片法により電子顕微鏡 (JEM-7) で観察した。

3. 結果と考察

3-1. 柔細胞内容物の挙動

3-1-1. 放射柔細胞

最初に3樹種の放射柔細胞内容物の、形成層から心材にいたる存在形態について述べる。Photos. 1a, b にスギの辺材、移行材における核を示す。このような核を細長比 (核の長径/短径) および体積 (回転楕円体として計算したもの) を指標として整理すると、Figs. 1a~1c のようになる。すなわち3樹種とも、核の体積・細長比は辺材の外側2・3年の範囲で比較的变化を示すが、それより内側では、移行材にいたるまであまり大きく変動しないことを示している。こ

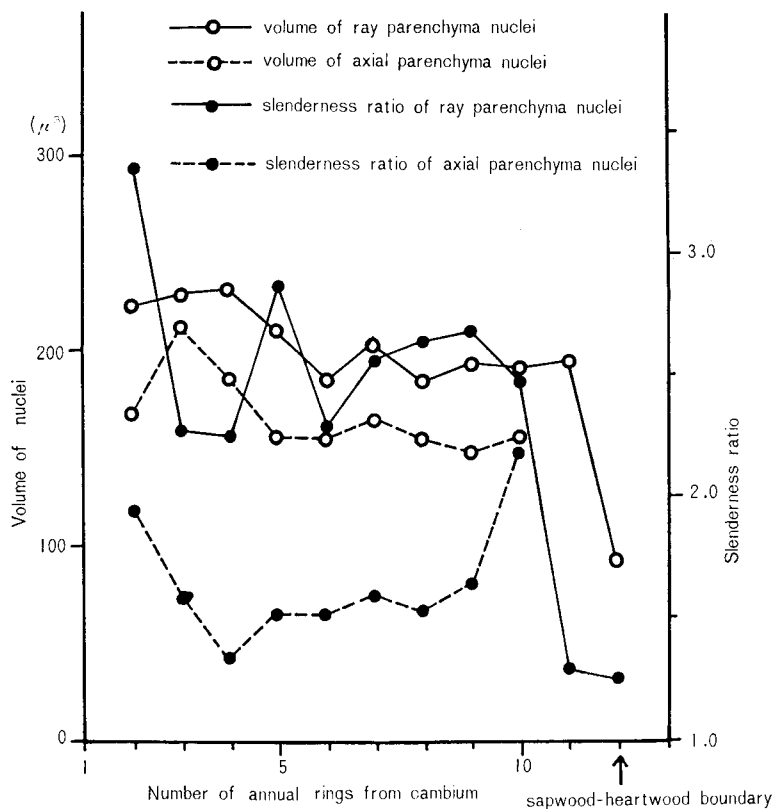


Fig. 1 (a)



Fig. 1 (b)

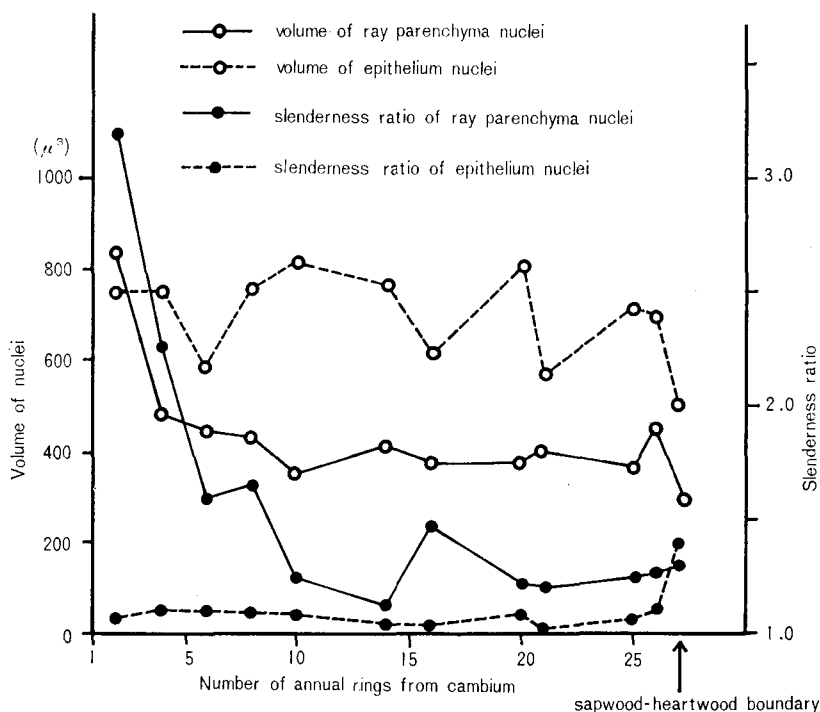


Fig. 1 (c)

Fig. 1 Volume and slenderness ratio of parenchyma nuclei from cambium to intermediate wood. (a) Sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON), (b) Momi (*Abies firma* SIEB. et ZUCC.), (c) Akamatsu (*Pinus densiflora* SIEB. et ZUCC.)

の傾向は、深沢らの報告とほぼ一致している。Figs. 1a, 1c の中には、放射柔細胞以外の柔細胞における核の変化も同時に示されており、両者を年輪内の同じ位置で比較するために、放射柔細胞は晩材部で測定した。従って細長比・体積ともに早材部の核よりも小さい値を示している。なお、アカマツの放射仮道管の核は、形成層近辺では存在するが、形成層から数細胞の位置で消失する。また *Abies* 属については、放射柔細胞中に結晶が形成される傾向にあることが報告されているが、今回のモミについても、周縁部の放射柔細胞中に、辺材で結晶が形成されており、これらの細胞は核を消失している (Photo. 2)。

貯蔵物質のでんぷんは、形成層近辺から移行材まで一般に存在している (Photo. 3)。一方脂質についても同様に形成層近辺から移行材まで観察された。スギ・モミでは脂質粒が比較的小さい形態を示す (Photo. 4, 7) のに対し、アカマツでは形成層近辺の放射柔細胞を除いて細胞内腔に大きく発達しているのが特徴的である (Photo. 5)。これらアカマツの脂質を電子顕微鏡で観察すると、Photo. 6 に示すように、大きいものでは10ミクロンオーダーの脂質として存在していることがわかる。

タンニンは、スギ・モミ・アカマツで各々異なった存在様式を示した。すなわちスギでは辺材の放射柔細胞中には存在せず、移行材に存在した (Photo. 8a)。また心材では移行材のように顆粒状のタンニンとしては認められなかったが、細胞内腔や細胞壁が硫酸第一鉄で黒く染色される場合があり (Photo. 8b)、移行材で観察された顆粒状のタンニンが何らかの変化を示したものと推定される。このようにスギでは移行材近辺にタンニンが観察されたが量的には少ないものであった。モミの場合にはタンニンは当年輪の放射柔細胞中に観察され、辺材を通して移行材まで存在した (Photo. 9)。また心材にいたっても観察される場合があったが、硫酸第一鉄による染色性

が辺材とは異なり、また無染色で観察すると辺材のタンニンよりも濃い褐色を示した。従って辺材のタンニンとは何らかの相違があるものと推定される。アカマツにおいても辺材の放射柔細胞中に観察されたが、スギの移行材の場合と同様量的には少なかった。

3 樹種の放射柔細胞を電子顕微鏡で観察すると、核をはじめ、ミトコンドリアやゴルジ体・プラスト・小胞体・液胞等の細胞内小器官また脂質やアミロプラスト中のでんぷんが観察された。一例として、モミの辺材における電子顕微鏡写真を Photo. 7 に示す。これらの内容物は、厳密には形成層から移行材にかけて変化しているが、辺材を通じてこのような細胞内容物が存在していることは、放射柔細胞が生活機能を有していることを示すものと判断され、既往の研究と一致する。

3-1-2. その他の柔細胞

放射柔細胞での観察と同様に、放射柔細胞以外の柔細胞についても同様の対象物について観察を行なった。

まず核についての観察結果を述べる。アカマツの軸方向樹脂道のエピセリウム細胞の核を Photo. 10 に、スギ・アカマツの核の体積・細長比の測定結果を Figs. 1a, c に示す。Fig. 1c には水平樹脂道のエピセリウム細胞については触れられていないが、軸方向樹脂道のエピセリウム細胞とほぼ同様の傾向を示していた。すなわちスギ・アカマツともに核は形成層近辺から移行材にいたるまで存在していることを示す。貯蔵物質のでんぷん・脂質についても、同様に形成層近辺から移行材まで存在した。スギの場合、放射柔細胞に比べて少ない傾向を示したが、アカマツの場合には、Photo. 5 に示すように、放射柔細胞とほぼ同様の存在様式を示した。

タンニンは、スギでは当年輪の軸方向柔細胞中に、液胞に貯えられた形態で観察され、当年輪から心材外部にかけて存在した (Photo. 11)。ただ心材中のタンニンは硫酸第一鉄による染色性を異にしていたので、モミの辺・心材における放射柔細胞中のタンニンの場合と同様、何らかの相違があるものと推定される。アカマツの軸方向樹脂道のエピセリウム細胞中には、辺材でタンニンを含む細胞が観察された (Photo. 12)。ただしスギの軸方向柔細胞ではほとんどの細胞中に存在したのに対して、アカマツの場合には時折含まれる程度であった。アカマツの水平方向樹脂道のエピセリウム細胞中には、まれに観察される程度であった。

3-1-3. 放射柔細胞とその他の柔細胞との比較

3 樹種の内容物を見てくると、前述のように原形質的な細胞内小器官である核や貯蔵物質が、放射柔細胞、その他の柔細胞ともに当年輪から移行材にいたるまで存在し、タンニンについては、樹種・部位・細胞の種類により、存在様式が異なることが示された。すなわち二次木部を構成する柔細胞を“群”としてとらえた時、柔細胞群が形成層から移行材まで生活機能を有しているということになる。そして各々の生活機能の質として、柔細胞の種類により内容物が異なり、たとえば代謝生成物と考えられるタンニンの分布の特徴は、このようなものの一つの現われと見ることが出来る。

3-2. 移行材における柔細胞の老化の二・三の特徴

柔細胞内容物に関する観察から、放射柔細胞・その他の柔細胞ともに形成層から移行材まで生活機能を持っていることを述べてきた。ところで、スギの移行材における核を示した Photo. 1b を見ると、同じ部位の放射柔細胞について、核を持つものと持たないものが存在する。すなわち移行材における柔細胞の老化は厳密には同時におこるものではなく、いくつかの段階があるのではないかと推定される。ここでは今回観察された二・三の特徴について報告し、移行材における

細胞の老化を考える上での参考としたい。

スギ移行材の放射柔細胞で、核を早く消失する細胞（一般的には周縁部の放射柔細胞）が存在することを述べた。そこで移行材の同じ部位の放射柔細胞群を電子顕微鏡で観察すると、Photos. 13a, b に示すように、細胞内容物が比較的豊富な細胞と、液胞化が顕著になり内容物をほとんど持たない細胞とがあり、光学顕微鏡による観察結果と対応しているものと思われる。またスギの軸方向柔細胞と放射柔細胞を比較すると、軸方向柔細胞の方が早く核を消失するようであり、Fig. 1a にはこの傾向があらわれている。この傾向については深沢⁹⁾にも触れているが、核の成分的な特性をもあわせて観察することにより、今後さらに検討してゆく必要がある。

モミの場合、放射柔組織の周縁の細胞では辺材で結晶が形成され、このような細胞では核を消失していることを述べた。このような結晶を持つ放射柔細胞は別としても、タンニンを含む細胞の中には、移行材で他の放射柔細胞より早く老化するものが存在した。またアカマツの水平方向樹脂道のエピセリウム細胞中の脂質が、移行材で放射柔細胞とは異なった染色性を示し、早く変質した可能性を示している。

このように、移行材における柔細胞の老化・壊死の進み方は、細胞により厳密には異なったものと推定される。これらの問題点について、今後さらに観察し、心材化との係わりにつれて、検討してゆく必要があると考えられる。

引用文献

- 1) FREY-WYSSLING, A. and BOSSHARD, H. H.: Cytology of the ray cells in sapwood and heartwood, *Holzforsch.*, **13**, 129-137 (1959)
- 2) 樋口隆昌, 深沢和三, 中島庄兵: 心材形成機構に関する研究 (第1報), 組織の細胞化学, 木材誌, **10** (6), 235-241 (1964)
- 3) 小林彌一: 本邦における針葉樹材のカード式識別法, 林業試験場研究報告, No. 98, 1-84 (1957)
- 4) 島地 謙: 木材解剖図説 (地球出版), 55 (1964)
- 5) REEVE, R. M.: Histological and histochemical changes in developing and ripening peaches. I. The catechol tannins. *Amer. J. Bot.*, **46**, 210-217 (1959)
- 6) 深沢和三, 樋口隆昌: 心材形成機構に関する研究 (第2報), 放射柔細胞核の消長と DNA 量について, 木材誌, **11** (5), 196-201 (1965)
- 7) KENNEDY, R. W., SASTRY, C. B. and BRATON, G. M.: Crystals in the wood of the genus *Abies* indigenous to Canada and the United States, *Can. J. Bot.*, **46**, 1221-1228 (1968)
- 8) NOBUCHI, T. and HARADA, H.: Electron microscopy of the cytological structure of the ray parenchyma cells associated with heartwood formation of Sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON), 木材誌, **14** (4), 197-202 (1968)
- 9) 深沢和三, 樋口隆昌: 心材形成機構に関する研究 (第4報), 放射柔細胞の RNA 量について, 木材誌, **12** (5), 221-226 (1966)

Résumé

In order to obtain some fundamental information on the mechanism of heartwood formation, the cytology of the parenchyma cells has been studied in three soft wood species — Sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON), Momi (*Abies firma* SIEB. et ZUCC.) and Akamatsu (*Pinus densiflora* SIEB. et ZUCC.).

In the ray parenchyma cells, nuclei and storage materials — starch granules and lipid droplets — were observed from cambial zone to intermediate wood. These results favour the view that the ray parenchyma cells of all sapwood possess the metabolic activity.

In the axial parenchyma cells and epithelial cells, nuclei and storage materials were also observed from cambial zone to intermediate wood.

Tannic materials showed different distribution in tree species, parenchyma cell types and the age from cambium.

In the intermediate wood, the mode of the parenchyma cell contents were not homogeneous, therefore the start of the aging of the parenchyma cells seems to be not simultaneous.

Photo. 1. Light micrographs showing nuclei in the ray parenchyma cells. (a) Sapwood of *Cryptomeria japonica*. Nuclei show elongated shape. (b) Intermediate wood of *Cryptomeria japonica*. Nucleus disappears in the marginal cells.

Photo. 2. Light micrograph showing nuclei in the ray parenchyma cells of sapwood of *Abies firma*. Marginal cells contain crystals.

Photo. 3. Light micrograph showing starch granules in the ray parenchyma cells of *Cryptomeria japonica* (sapwood).

Photo. 4. Light micrograph showing the lipid droplets in the ray parenchyma cells of *Abies firma* (sapwood).

Photo. 5. Light micrograph showing the lipid droplets in the ray parenchyma cells and epithelial cells of *Pinus densiflora* (sapwood).

Photo. 6. Electron micrograph showing the lipid droplets and nucleus in the ray parenchyma cell of *Pinus densiflora* (tangential section). Sapwood.

Photo. 7. Electron micrograph showing the cell organelles in the ray parenchyma cell of *Abies firma* (tangential section). Sapwood.

Photo. 8. Light micrographs showing tannin in the ray parenchyma cells of *Cryptomeria japonica*. (a) Intermediate wood, (b) Outer part of heartwood.

Photo. 9. Light micrograph showing tannin in the ray parenchyma cells of *Abies firma* (sapwood).

Photo. 10. Light micrograph showing nuclei in the epithelial cells of *Pinus densiflora* (sapwood).

Photo. 11. Light micrograph showing tannin in the axial parenchyma cells of *Cryptomeria japonica* (sapwood).

Photo. 12. Light micrograph showing tannin in the epithelial cells of *Pinus densiflora* (sapwood).

Photo. 13. Electron micrographs showing the cell organelles in the ray parenchyma cells of *Cryptomeria japonica* (tangential section). Intermediate wood. (a) A cell containing relatively rich cell organelles. (b) A cell containing large vacuole and poor other organelles.

Abbreviations—A: amiloplast, Cry: crystal, L: lipid, M: mitochondrion, N: nucleus, P: plastid, PM: plasma membrane, S: starch, T: tannin, To: tonoplast, V: vacuole, W: cell wall.

